Das Galvanometer

mit beweglicher Spule

(d'Arsonval-Galvanometer).

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde

der hohen philosophischen Fakultät

der

k. b. Ludwigs-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt

von

Max Edelmann

am 10. Juni 1898.

München 1899

Druck von G. Hafner, Theresienstr. 27.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41553806_0112

Das Galvanometer

mit beweglicher Spule

(d'Arsonval-Galvanometer).

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde

der hohen philosophischen Fakultät

der

k. b. Ludwigs-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt

von

Max Edelmann

am 10. Juni 1898.

ACAD. LEGD. BAT. BIBL.

München 1899

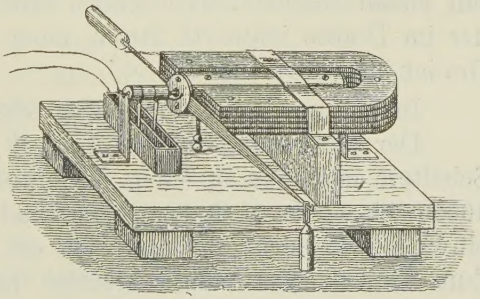
Druck von G. Hafner, Theresienstr 27.

I. Historisches.

Die Zunahme der Anzahl der elektrischen Kraft- und Lichtanlagen in der Nähe von physikalischen Laboratorien und die hieraus hervorgegangene häufige und immer zahlreicher werdende Anwendung des d'Arsonval-Galvanometers einerseits, meine Beschäftigung in den Werkstätten meines Vaters mit diesen Instrumenten andererseits haben mich veranlasst, dieses Thema zu behandeln. Ich habe zu diesem Zwecke umfangreiche Litteraturstudien gemacht. Es existirt indes keine in sich abgeschlossene Abhandlung über das Instrument. Deshalb will ich im folgenden zunächst eine Geschichte desselben geben.

Die erste Type des Instrumentes, soweit es Deprez-d'Arsonval-Galvanometer genannt wird, dürfte die von Marcel Deprez publizirte*) im Jahre 1880 sein. Ich halte es für nötig, näher auf seine Construction einzugehen.

Wie ersichtlich, bestand es aus mehreren übereinander gelegten Hufeisenmagneten, zwischen deren Schenkel sich ein Galvanometerrahmen befand. Derselbe ruhte auf zwei Schneiden. Die Zu- und Ableitung des Stromes geschah durch zwei Quecksilbernäpfe, in welche zwei gegen einander isolirte Metallstücke tauchten. Auf der Achse des Ganzen ist noch ein Hebel befestigt mit einem Laufgewichte, vermittelst dessen das Galvanometer abgelesen



Figur 1.

*) L. L. E. 1880. S. 462. II.

wurde. Von einem weichen Eisenkerne rät der Verfasser ab, da er die Unannehmlichkeit habe, die Proportionalität der Ausschläge mit der zu messenden Ablenkungskraft des Magneten auf den Strom zu stören. Grossen Anspruch auf Genauigkeit konnte das Instrument sicherlich nicht machen.

Sehr bald darauf (im Jahre 1881) erschien*) eine Verbesserung des Galvanometers, von d'Arsonval herrührend. Im Allgemeinen ist es das in Figur 1 dargestellte Instrument, nur constructiv schon bedeutend besser ausgebildet. Es besteht aus drei übereinander gelegten Hufeisenmagneten mit dazwischen liegendem Rahmen. Die Lagerung derselben und die Stromleitung ist genau dieselbe wie oben. d'Arsonval blieb auf der Anwendung eines weichen Eisenkerns zur Verstärkung des Magnetfeldes, indessen Deprez änderte die ursprünglich geplante Fischgräte (wegen ihrer Form so genannt), in einen Cylinder um. An Stelle des Hebels mit Laufgewicht ist ein Strohhalm mit Scala zur Ablesung des Galvanometers verwendet. Der bewegliche Rahmen bestand entweder aus einer einzigen Metall-Lamelle oder aus einer grösseren Anzahl von Windungen eines dünnen Drahtes. Erstere Anordnung diente für technische, letztere für wissenschaftliche Zwecke. Die Empfindlichkeit im ersten Falle war folgende:

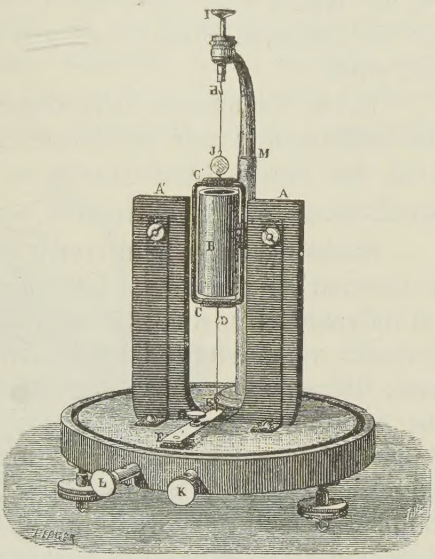
Wenn man einen 100 mm langen und 1 ½ bis 2 mm dicken Kupferdraht zu einer Windung bog und in dieselbe eine mit einem Magneten bestrichene Stricknadel brachte, dann rief der im Drahte inducirte Strom einen Ausschlag von mehreren Graden hervor.

Im zweiten Falle ergab sich folgende Empfindlichkeit:

Der Windungsdraht war bei 150 Windungen 0,1 mm stark. Schaltete man nun in einen Stromkreis mehrere Personen von 40000 bis 50000 Ω Gesamtwiderstand, das Galvanometer und ein Daniell-Element, so ergab sich ein Ausschlag von 15° bis 20°. Zum Schlusse weist der Verfasser noch auf die Aperiodicität des Instrumentes hin. Man sieht, dass dieses Instrument schon einen Fortschritt in seiner Art bedeutete.

*) L. L. E. 1881. S. 309. VI.

Im Jahre darauf 1882 erfuhr das Galvanometer eine neue Formveränderung *). Die horizontale Lage des Rahmens hatte sich aus verschiedenen Gründen nicht bewährt. Einmal ist es schwierig, den Rahmen genau ins Gleichgewicht zu bringen, ferner bildeten die in Quecksilber tauchenden Metallstücke einen unsicheren Kontakt und endlich wurde auch die Empfindlichkeit des Instrumentes durch ihre Reibung im Quecksilber ziemlich beeinträchtigt. Nur zweimal noch tauchte die Construction mit horizontaler Achse wieder auf; ich werde später auf dieselben zu sprechen kommen.



Figur 2.

Aus obigen Gründen nun wurde die Drehachse vertikal, ebenso auch die Magnete gestellt. Figur 2 zeigt das Instrument. Man hing hiebei, wie ersichtlich, den Rahmen zwischen zwei Silber- oder Kupferdrähten auf. Der obere von beiden war in einem Suspensionskopf befestigt, der untere wurde durch eine Federlamelle mit

*) L. L. E. 1882. S. 439. VI.
C. R. 1882. S. 1347. XCIV.
L. E. 1882. S. 170. III.
Z. f. a. E 1882. S. 471. IV.
W. A B. 1882. S. 596. —
Z. f. J. k. 1882 S. 299. II.
F. d. Ph. 1882 S. 522. XXXVIII.
D. p. J. 1883. S. 24. CCIL.
J. of T. E. 1883. S. 448. XII.
E. f. a. E. 1883. S. 654. V.
F. d. Ph. 1883. S. 598. XXXIX.
Z. f. J. K. 1884. S. 90. IV.
The E. a. E. E. L. 1885. S. 57. IV.
E. R. 1887. S. 467. XX.

Regulirungsschraube angespannt. Es bezeichnete diese Aufhängung immerhin einen Fortschritt, weshalb sie auch lange beibehalten wurde, und soviel ich weiss, verwenden sie einzelne Firmen auch heutigen Tages noch. Doch hat sie den Nachteil, dass das Instrument schwierig einzustellen ist, so dass der Rahmen bzw. dessen Drehachse genau in die Vertikale kommt. Ferner ergibt sich noch der Uebelstand, dass das Instrument für die kleinsten Erschütterungen seines Fundamentes empfindlich wird.

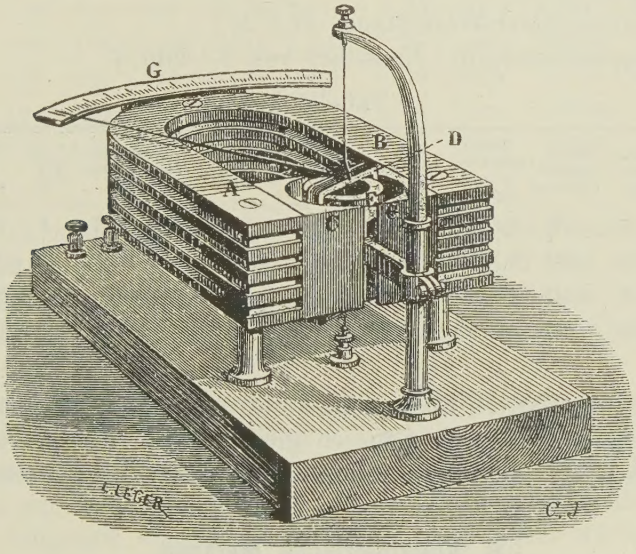
Ueber die andern Teile desselben ist nicht viel zu sagen. Das Instrument wurde mit Spiegel, Fernrohr und Scala abgelesen. Auch der weiche Eisencylinder ist wieder vorhanden. Die Empfindlichkeit soll $\frac{1}{10000000}$ Ampère betragen haben.

Nächstfolgendes Jahr (1883) erschien ein Galvanometer von Le Goarant de Tromelin. Dasselbe ist im Prinzipe ein d'Arsonval-Galvanometer, nur war die Lage des Rahmens eine andere. Tromelin verwendete gleichfalls drei Stahlmagnete in Hufeisenform, übereinander mit einem Abstande von je 5 mm gelagert. Die Anordnung der Pole war so, dass der obere und untere Magnet gleiche Lage bezüglich ihrer Pole, der mittlere indess umgekehrte hatte, das heisst, die Pole wechselten ab. Der Rahmen selbst nun umfasst die beiden Pole des mittleren Magneten. Die ganze Konstruktion ist, wie der Erfinder behauptet, eine Umdrehung der Einrichtung eines astatischen Galvanometers, das unterhalb der Multiplikatorrolle noch eine dritte Magnetnadel hat, deren Pole mit der obersten gleichnamig sind; es soll sich die Empfindlichkeit des Instrumentes dadurch verdreifachen lassen. Die Empfindlichkeit gibt der Constructeur, wie folgt, an: Lässt man ein nur wenige Milligramm schweres

*) C. R. 1883. S. 995. VIIC.
E. R. 1883. S. 413. XIII.
L. L. E. 1883. S. 414. XXXIX.
F. d. Ph. 1883. S. 612. XXXIX.
W. A. B. 1884. S. 137. —
Z. f. I. k. 1884. S. 102. IV.
J. of T. E. 1884. S. 272. XIII.
C. f. E. 1884. S. 211. VI.
L. L. E. 1886. S. 18. XIX.

Eisenstück auf den Magneten eines Telephones, dessen Platte man zu dem Zwecke entfernt, fallen, so erhält man schon einen Ausschlag.

Bei den bisher besprochenen Instrumenten nahm die Spule mehr oder weniger die ganze Länge des Magnetzwischenraumes ein, wobei sich zeigte, dass die Ausschläge nur bis 5^0 der Stromstärke proportional blieben, da die Intensität des Magnetfeldes bei diesen Constructionen natürlich nicht konstant war. Diesen Uebelstand suchte nun Deprez *) im Jahre 1884 dadurch zu vermeiden, dass er Polschuhe anwendete. Figur 3 giebt das



Figur 3.

Instrument wieder. Wie man sieht, besteht dasselbe aus einem Magazin von fünf hufeisenförmigen Stahlmagneten, an welches zwei Polschuhe angesetzt sind. Dieselben haben concave Form und mit dem inneren weichen Eisen-Hohlcylinder conzentrische Lage. In dem hierdurch entstandenen kreisringförmigen Raume

*) L. L. E. 1884. S. 401. XIV.
F. d. Ph. 1884. S. 614. XL.
C. f. E. 1885. S. 138. VII.
W. B. B. 1885. S. 185. —

schwingt der wiederum an zwei straff gespannten Drähten aufgehängte Galvanometerrahmen. Infolge dieser Einrichtung erstreckt sich die Proportionalität bis zu 120° Ausschlag. Abgelesen wurde das Instrument mit Zeiger und Scala. Es dürfte vielleicht von Interesse sein, hier von Deprez selbst erlangte Versuchsresultate anzugeben.

Bei den Versuchen wurde das Voltameter als Kontroll-Apparat verwendet. Dieselben ergaben folgendes:

A. Galvanometrische Methode:

Barometerstand: 760°.
Galvanometer-Widerstand: 16,7 Ω.
Suspensionsdraht: Neusilber von 0,4 mm Φ.

Tabelle I.

Voltameter bei t° u. 760 mm	Temperatur	Reductionskoëffizient	Voltameter bei 0° und 760 mm	Versuchsdauer	Galvanometer-Shunt	Total-Intensität	Intensität im Galvanometer	Teilstriche	Galvanometerkonstante
3,85	14	0,936	3,6036	240	2	0,0861	0,00921	8	0,001156
3,30	13	0,941	3,1050	240	6	0,0740	0,01955	17	0,00115
4,50	13	0,941	4,2345	420	0	—	0,0576	50	0,001152
4,65	13	0,941	4,3760	360	—	—	0,06950	60	0,001158

Aus der letzten Kolonne ist zu ersehen, dass die Konstante des Galvanometers sich ziemlich gleich bleibt, d. h. also, dass die Ausschläge sehr genau proportional den Stromintensitäten waren.

B. Voltametrische Methode.

Es bedeutet in Tabelle II:

H = Barometerstand.
t^0 = Temperatur, beide im Versuchsmomente gemessen.
k = Reductionskoëffizient für das Volumen V_t.
V_t = Volumen des im Voltameter frei werdenden Gases bei t^0.
V_0 = Volumen, reduzirt auf 0° und 760 mm *Hg*.
τ'' = Dauer des Versuches.
n = Zahl der Teilstriche, um welche das Galvanometer ausschlug.
J_1 = Total-Intensität, berechnet nach V_0.
ϱ = Shunt im Galvanometer.

K_1 = Reduktions-Koëffizient bezogen auf J_1.
J = Intensität im Galvanometer.
i = Galvanometer-Konstante.

Als Stromquelle waren fünf Daniell-Elemente, neben einander geschaltet, verwendet; der Widerstand des Galvanometers betrug 17 Ω, der des shuntirten Galvanometers 0,704 Ω

Tabelle II.

H	t^0	k	V_t	V_0	τ''	n	J_1	ϱ	k_1	$J = J_1 . k_1$	$i = \frac{J}{n}$
755	16	0,92	2,75	2,53	120	13	0,1206	0,734	0,0414	0,00498	0,000383
755	15	0,926	6,40	5,296	120	30	0,281	0,734	0,0414	0,0116	0,000387
760	15	0,930	4,05	3,7665	130	13	0,1197	0,734	0,0414	0,00496	0,000381
760	15	0,930	6,30	5,859	120	30	0,279	0,734	0,0414	0,01155	0,000385
760	15	0,930	6,35	5,906	120	30	0,281	0,734	0,0414	0,011650	0,000388
760	15	0,930	4,50	4,185	240	50	0,0997	0,734	0,1908	0,01899	0,000380

Wie man sieht, schwankt auch hier die Konstante nur zwischen 0,000380 und 0,000388; es ergibt sich also wiederum eine ziemlich genaue Proportionalität. Das Instrument bedeutete entschieden einen weiteren Fortschritt in dieser Klasse von Apparaten.

Nun kam wieder ein Versuch, die Drehachse horizontal anzuordnen, um eine verticale Zeigerablesung zu ermöglichen. Das Instrument*) hatte eine sehr gefällige Form. Das Magazin bestand aus drei ziemlich dicken Magneten mit zwei Polschuhen, welche entgegen voriger Construction so gelagert waren, dass sie mit ihren Polen auf der Grundplatte des Apparates ruhten. Die Suspensionsdrähte waren aus Stahl, 0,2 mm dick und 10 cm lang. Der Apparat wurde nach Einsetzen eines Rahmens von grossem Widerstande (ca. 2300 Ω) als Voltmeter, bei geringem Widerstande (1,4 Ω) als Ampèremeter verwendet. Die Empfindlichkeit im ersteren Falle war ca. 18° für ein Volt, im zweiten

*) L. L E. 1885. S. 393. XVII.
E R. 1885. S. 266. XVII.
F. d. Ph. 1885. S. 590 XXXXI.
W. A. B. 1886 S. 126. —

12^0 für $^1/_{100}$ Ampère. Der Suspensionsdraht ist auf der einen Seite an einer Feder und an der andern an einem Torsionskopfe befestigt, wodurch der Nullpunkt eingestellt werden kann. Das Instrument wurde construirt von Barbier & Cie. im Jahre 1885.

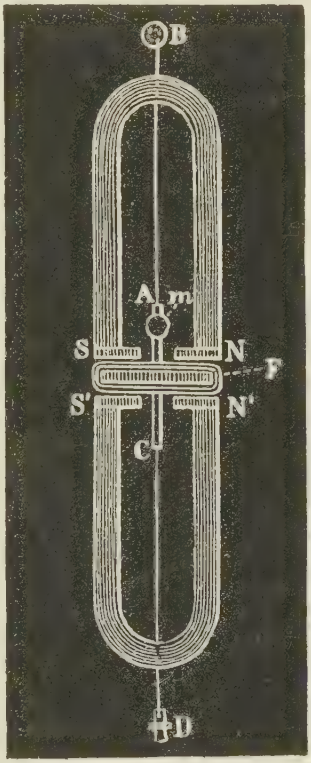
Die bisherigen Galvanometer dienten alle zur Messung von gewöhnlichen Stromstärken und Spannungen. d'Arsonval wendete das Instrument zum ersten Male im Jahre 1886 zur direkten Messung von Thermoströmen an*). Er bestimmte damit die tierische Wärme. Das Instrument selbst construirte J. Carpentier, der überhaupt ein grosses Verdienst an der praktischen Ausführung dieser Apparate hat, nach Angaben von d'Arsonval. Es sollte zur Messung der strahlenden Wärme als sogenanntes Thermo-Galvanometer dienen. Dasselbe hatte einen Hufeisenmagnet, zwischen dessen Schenkeln in vertikaler Richtung der Rahmen suspendirt war. Dieser ist bei einer ersten Construction aus einer einzigen Windung von zwei verschiedenen Metallen, Kupfer und Neusilber zusammengesetzt und an einem Coconfaden befestigt. Der Apparat ist natürlich aperiodisch.

Eine zweite Construction ist noch etwas einfacher, indem der Rahmen samt weichem Eisenkern ersetzt ist durch ein Lamellenpaar aus Kupfer und Palladium, gleichfalls an einem Coconfaden aufgehängt. Die Ablesung geschah in beiden Fällen mittelst Spiegel, Fernrohr und Scala.

Eine weitere Modifikation führte d'Arsonval in einer Sitzung der Société de physique*) zu Paris vor. Figur 4 zeigt dieselbe schematisch. Wie man sieht, liegen sich zwei Magnete

*) L. L. E. 1886. S. 17. XX.
E. R. 1886. S. 344. XVIII.
C. f. E. 1886. S. 485. VIII.
Z. f. J. k. 1886. S. 391. VI.
Rev. Int. 1886. S. 246. II.
F. d. Ph. 1886. S. 370. XXXXIII.
Soc. franc. 1886. S. 30. I.
W. A. B. 1886. S. 65. —
Z. f. E. 1888. S. 196. —
F. d. Ph. 1886. S. 553. XXXXII.
F. d. Ph. 1886. S. 553. XXXXII.

mit den gleichnamigen Polen gegenüber. Vier glatte Polstücke sind an dieselben angesetzt. In der Mitte befindet sich eine weiche Eisenlamelle; zwischen derselben und den Polstücken ist der Rahmen statt wie bisher achsial, äquatoreal aufgehängt. Die Suspension besteht aus zwei Metalldrähten von 0,15 mm Φ, welche beide in Klemmen am Rahmen befestigt sind, um einen Ersatz bei allfallsigem Bruche leicht bewerkstelligen zu können. Der obere Draht rollt sich auf eine Welle auf, wodurch man den Rahmen in passender Höhe befestigen und beide Drähte anspannen kann, da der untere mit einer Federlamelle fest verbunden ist.



Figur 4.

In demselben Jahre (1886) tauchte das Instrument zum ersten Male in der englischen Litteratur*) auf unter dem Namen eines modificirten Maxwell-Galvanometers von Prof. S. P. Thompson. Näheres über dasselbe, das prinzipiell das d'Arsonval-Instrument war, gelang mir leider nicht aufzufinden.

Nun erfolgten im Jahre 1887 verschiedene Neuerungen**), von Carpentier ausgeführt. Er wickelte den Rahmen differential und hing ihn, wie aus Figur 5 hervorgeht, bifilar auf. Die übrigen Details bezüglich Magnetfeld u. s. w. boten nichts neues. Dies war das erste Differential-Galvanometer dieser Klasse von

*) Eng. 1886. S. 362. IXL.
Ch. N. 1886. S. 179. LIII.
F. d. Ph. 1886. S. 556. XLII.
**) L. L. E. 1887. S. 257. XXIII.
C. f. E. 1887. S. 569. IX.

Apparaten. Eine fernere Modifikation des Instrumentes erzielte Carpentier dadurch, dass er an Stelle der permanenten Magnete Elektromagnete anwendete. Endlich verdoppelte er die ganze Einrichtung*), indem er zwei hintereinander geschaltete Rahmensysteme zwischen den oberen und unteren Polen zweier längerer Lamellen-Magnete anbrachte.

Figur 5.

Auch bei Elektrometern wurde das Prinzip unserer Galvanometer zum Teil verwendet, so von Carpentier**) und vom elektrotechnischen Institut in Lüttich***), welches das Elektrometer meines Vaters durch Anwendung eines Hufeisen-Magneten aperiodisch machte.

Letzteres Institut publicirte auch im Jahre 1887 ein modificirtes d'Arsonval-Galvanometer, welches eine bemerkenswerte Neuerung enthielt. An Stelle des unteren Suspensionsdrahtes wurde nämlich eine feine Spirale angewendet. Die Stromzuleitung durch eine Spirale war ja an sich im Jahre 1887 nichts Neues mehr, da sie mein Vater schon 1872 an einem seiner Instrumente anbrachte, allein sie wurde hier zum ersten Male bei den d'Arsonval-Galvanometern verwendet. Die übrige Einrichtung besteht gleichfalls aus zwei Lamellenmagneten unter Anwendung zweier Rahmensysteme wie bei Carpentier, wovon der untere aus einer einzigen in sich geschlossenen Kupferdraht-Windung bestehend, die Dämpfung des Instrumentes zu bewirken hat

Im Jahre 1887 erschien unter grossem Lärm der englischen

*) L. L. E. 1887. S. 225. XXIV.
W. A. B. 1887. S. 596. —
F. d. Ph. 1887. S. 570. XLIII.
**) C. R. 1887. S. 1694. CIV.
L. L. E. 1887. S. 205. XXV.
C. f. E. 1887. S. 567. IX.
Z. f. J. k. 1887. S. 402. VII.
***) L. L. E. 1887. S. 117. XXV.
C. f. E. 1887. S. 631. IX.
C. f. E. 1887. S. 632. IX.
F. d. Ph. 1887. S. 571. XLIII

Zeitschriften als grosse Neuigkeit das „Maxwell-Jolin-Patent Dynamo-Galvanometer“ *) mit seinem wulstigen Namen. Es war ein ganz gewöhnliches d'Arsonval-Galvanometer, das an Stelle des weichen Eisencylinders ein cylindrisches Bündel von lauter einzelnen weichen Eisenstäbchen enthielt.

Es ist dies das zweite Mal, dass der Name Maxwell mit dem Instrumente in Verbindung tritt. Ich habe Maxwell's Lehrbuch und seine gesammelten Werke durchgesehen, es gelang mir jedoch nicht, irgend eine Stelle aufzufinden, aus der hervorgegangen wäre, dass Maxwell der Autor unseres Instrumentes gewesen wäre **).

Das Jahr 1887 brachte auch wieder einige ganz nette Constructions-Neuerungen von Carpentier. Es handelt sich um zwei Apparate. Der erste derselben war in der Absicht entstanden, ein namentlich für technische Zwecke brauchbares Instrument zu bauen. Deshalb ersetzte Carpentier die Fadensuspension, wie bei unseren modernen Weston-Instrumenten, durch Spitzensuspension. Die Stromleitung wurde durch zwei Spiralfedern bewerkstelligt. Polschuhe liess er weg, füllte aber dafür den ganzen Raum zwischen den Schenkeln der Magnete aus.

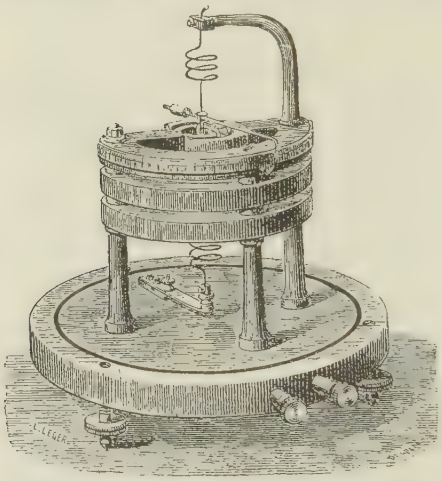
Die zweite Construction ***) ist ein gewöhnliches d'Arsonval-Galvanometer mit doppelter Fadensuspension, indes transportabel. Zu diesem Zwecke ist es samt Mikroskop, reflektirendem Spiegel und Skala in ein Transportkästchen eingebaut.

*) E. R. 1887. S. 77. XXI.
E. R. 1887. S 20. XXI.
L. L. E. 1887. S. 539 XXV.
L. E. 1887. S. 624. XI.
C. f. E. 1887. S. 728. IX.
El. Z. 1888. S. 162. —
F. d Ph. 1888. S. 518. XLIV.

**) Siehe auch C. f. E. 1888. S. 728. IX. Uppenborn: „Nachdem Maxwell bereits 1879 verstorben ist und sich dieses Galvanometer von der Carpentierschen Original-Construction nur durch ungeschickte Anordnung unterscheidet, kommt das „Dynamo-Galvanometer“ etwas post festum“.

***) L. L. E. 1887. S 170. XXV.
C. f. E. 1887. S. 675. IX.
C. f. E. 1887. S. 675. IX.

Ein drittes hierher gehöriges Instrument*) im selben Jahrgange war ein Elektrometer von Carpentier, für industrielle Zwecke bestimmt. Es war ein Thompson'sches Quadranten-Elektrometer, wobei die Nadel eine Rahmenform hat. Die vertikalen Seiten dieses Rahmens indes bilden Cylinderstücke. Die Suspension desselben ist wiederum durch zwei Metalldrähte bewerkstelligt. Um das Instrument aperiodisch zu machen, ist die ganze Einrichtung zwischen drei aneinander gelegte Hufeisenmagnete angebracht. Es ist das im Grunde genommen dasselbe modificirte Elektrometer meines Vaters, wie das weiter oben beschriebene des elektrotechnischen Instituts zu Lüttich.



Figur 6.

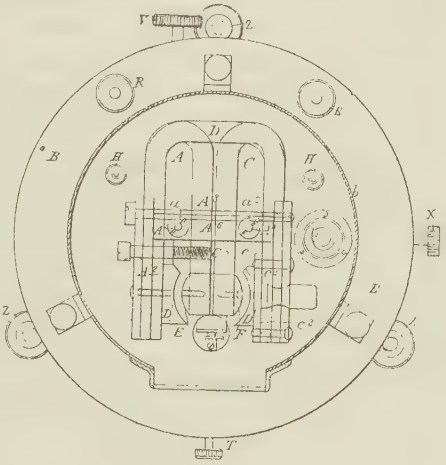
Im Jahre 1888 folgte eine von d'Arsonval angegebene Construction**). Diese enthielt eine Neuerung bezüglich der Form der Polschuhe und der Rahmensuspension. Wie Fig. 6 zeigt, bildete der eine Pol einen aufgeschnittenen Kreiscylinder, indem sich der zweite Polschuh ebenfalls als Hohlcylinder befand. Im Raume zwischen den beiden war der Rahmen so eingesetzt, dass dessen eine vertikale Seite, wie ersichtlich, in die Drehachse fiel, die andere unter der Einwirkung der beiden Pole stand. Die Suspension

*) L. L. E. 1887. S. 205. XXV.
C. R. 1887. S. 1694. CIV.
C. f. E. 1887. S. 567. IX.
Z. f. J. k. 1887. S. 402. VII.

**) L. L. E. 1888. S. 571. XXVII.
W. A. B. 1888. S. 494. —
Z. f. J. k. 1888. S. 369. VIII.
P. N. 1888. S. 175. XLIII.
C. Z. f. O. u. M. 1888. S. 177. —
F. d. Ph. 1888 S. 504. XLIV.

bestand aus zwei schraubenförmigen Federn. Die Ausschläge sollen bis 180° streng proportional gewesen sein. Empfindlichkeit ist leider keine angegeben.

In demselben Jahre trat eine englische Construction von Taylor*) auf, die in Figur 7 wiedergegeben ist. Dieselbe zeigt das Instrument bei abgehobenem Deckel. Eine Anzahl von Magnete sind übereinander gelagert; der innere Schenkel ist, wie ersichtlich, kürzer als der äussere; die langen Schenkel sind gleich, die kurzen entgegengesetzt magnetisirt. Zwei Systeme von solchen Magneten liegen also mit ihren kurzen Schenkeln benachbart, nur durch einen kleinen Zwischenraum von einander getrennt. Unten und oben bildet den Abschluss je ein Magnet, dessen Joch die Breite der zwei Systeme einnimmt. Sowohl die langen, als die kurzen Schenkel der Magnete sind mit conzentrischen Polstücken versehen, so dass sich wieder ein kreisringförmiger Raum ergibt, in welchem der Galvanometerrahmen schwingt. Es ist also hier der weiche Eisenkern durch ein Magnetsystem zur Verstärkung der Feldintensität ersetzt. Die Suspension und somit die Stromleitung ist bifilar. Auch wurde hier zum ersten Male eine direkte Arretirung für den Rahmen angebracht, um ihn und seine Suspension bei allenfallsigem Transporte zu schützen. Abgelesen wurde das Instrument mit Spiegel, Fernrohr und Scala.



Figur 7.

Das Jahr 1889 brachte wieder zwei Neuconstructionen

*) E. R. 1888. S. 640. XXII.
L. L. E 1888. S. 180. IX.
W. A. B. 1888. S. 816. —

von Carpentier *). Eine erstere war mit unifilarer Suspension zur Messung von ganz geringen Stromstärken bestimmt; neu an dem Instrument war nur die Ableitung des Stromes. Dieselbe wurde nach Angabe von d'Arsonval dadurch bewerkstelligt, dass die Spule in einen Platindraht nach unten zu endigte. Dieser Draht tauchte in einen Quecksilbernapf, von welchem der Strom abgeleitet wurde. Der obere Suspensions-Draht war aus Silber, 20 bis 30 cm lang. Die Oxydation des Quecksilbers und die daraus resultirende Reibung des Platindrahtes suchte d'Arsonval dadurch zu vermeiden, dass er auf die Oberfläche des Quecksilbers eine wässerige Lösung von Aetzkali gab.

Ein zweites Instrument war als ballistisches Galvanometer bestimmt. Dasselbe ist sehr bekannt und findet sich wohl in den meisten physikalischen Laboratorien. Das Magnetfeld ist gebildet von zwei kräftigen Hufeisenmagneten, die mit ihren Polen zusammenstossen, so dass sie eine geschlossene ovalförmige Figur bilden. Die Pole sind durch Polstücke verbunden. Der Rahmen ist sehr verlängert in Bezug auf seine horizontalen Seiten, um ein grosses Trägheitsmoment zu erzielen und dadurch die Aperiodicität aufzuheben. Die Mitte des Apparates bildet ein weicher Eisenblock als Kern. Der Rahmen ist 150 mm breit und 64 mm hoch; die verhältnismässig sehr langen Horizontalseiten liegen also ganz im Wirkungskreise des Magnetfeldes, ein Umstand, auf welchen ich im zweiten Teile vorliegender Arbeit zu sprechen kommen werde. Die Dauer einer einfachen Schwingung bei geöffnetem Stromkreise ist zu 7,75 Sekunden, das logarithmische Decrement als $\lambda = 0{,}0419$ angegeben.

Im Jahre 1889 erfolgte auch die erste Publikation **) der

*) L. L. E. 1889. S. 465. XXXII.
E. Z. 1889. S. 122. XII.
F. d. Ph. 1889. S. 480. XLV.
Elettr. 1889. S. 218. —
Rev. Int. 1889. S. 470. VIII.

**) El. Z. 1889. S. 164. XII.
El. W 1889. S. 63. XIII.
E. Z. 1889. S. 5. XII.
D. E. T. 1891. S. 351. X.
L. L. E. 1893. S. 275. IL.
E. Z. 1894. S. 185. XVI.
E. Z. 1894. S. 386. XVI.

Weston-Instrumente. Das Magnetfeld wurde, wie es auch heute noch der Fall ist, gebildet von einem kreisförmig gebogenen Magneten mit Polstücken, welche einen durch einen Messingstift gestützten Eisenkern umfassen. Auf die weitere Einrichtung, die im grossen Ganzen bei den modernen Volt- und Ampèremetern der Firma noch beibehalten ist, glaube ich bei der allgemeinen Bekanntheit der Instrumente nicht näher eingehen zu müssen. Die Apparate sind immer mehr vervollkommnet worden, so dass man wohl behaupten kann, dass sie gegenwärtig als die besten ihrer Art für technische Zwecke zu bezeichnen sind.

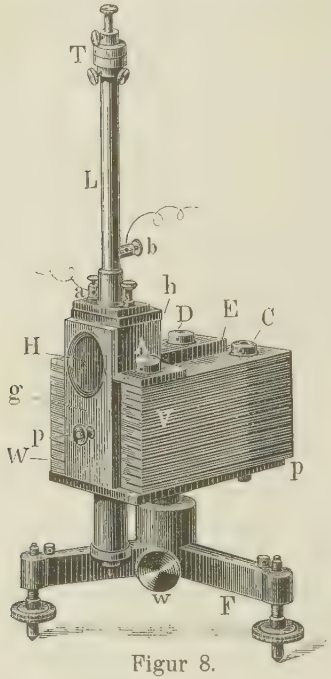
Gerard publizirte*) in demselben Jahre noch ein Differential-Galvanometer mit beweglicher Spule. Das Instrument enthält ausser den beweglichen Polschuhen nichts neues. Dieselben sollten die Regulirung des Instrumentes bzw. seines Kraftfeldes ermöglichen. Sie waren wie bisher concav und an einer Charnire befestigt. Ihre Bewegung wurde durch eine Schraube bewerkstelligt. Mittelst dieser Einrichtung konnte man dieselben dem Centralkerne nähern oder entfernen. Man regulirte, wie bereits erwähnt, dadurch die Verteilung der Kraftlinien und konnte so leicht die Ausgleichung der magnetischen Wirkung der die beiden benachbarten Spulen durchlaufenden Ströme erreichen.

Das Holden-d'Arsonval-Galvanometer**) des Jahres 1890 brachte nichts neues. Statt der Hufeisenmagnete waren zirkulare verwendet, die Suspension bestand aus zwei straff gespannten Metalldrähten.

1891 veröffentlichte***) mein Vater ein derartiges Galvanometer. Dasselbe (Figur 8) hatte als Suspensionsdrähte zwei ganz dünne Messingdrähte, von denen der untere eine schraubenförmige Spirale bildete. Das Magnetmagazin bestand damals

*) L. L. E. 1889. S. 545. XXXIII.
E. R. 1889. S. 350. XXV.
W. A. B. 1889. S. 962. —
F. d Ph. 1889. S. 480. XLV.
**) L L E. 1890. S. 327. XXXVIII.
The El. 1893. S. 257. XXXI.
F. d. Ph. 1893. S. 587. IXL.
***) E. Z 1891. S. 202. XII.
W. A. B. 1891. S. 389. –

noch aus einer Reihe äusserst kräftiger Lamellenmagnete. Die Schwingungsdauer der Nadel betrug ca. 2 Secunden. Als Empfindlichkeit ergab sich ein Ausschlag von 1 mm bei 1 m Scalenabstand und 1000 Ω Widerstand für eine Stromstärke von 0,00000003 Ampère.



Figur 8.

Das zirkulare Magnet-Magazin mit ganz enger Polöffnung wurde wiederum angewandt bei Ayrton u. Mather's d'Arsonval-Galvanometer*). Der Rahmen hatte den Querschnitt von zwei sich berührenden Kreisen. Diese war als die günstigste Form von Mather**) gefunden worden in einer der Physical Society zu London vorgelegten Arbeit über die Dimensionen, welche man den beweglichen Spulen der Messinstrumente zu geben hat. Der ganze Rahmen befindet sich zur Dämpfung und zum Schutze in einer Silberröhre. Dieselbe hängt in einer äusseren Messingröhre an einem Bande von Phosphorbronze; die Stromableitung wird durch eine Spirale gleichfalls aus Phosphorbronze ermöglicht. Das Instrument, das übrigens auch infolge einer Arretirung des Rahmens transportfähig war, scheint mir etwas sehr schwierig einzustellen, da der Zwischenraum zwischen der Silber- und Messing-Röhre nur äussert gering ist. Das Instrument soll sich indes durch ziemliche Empfindlichkeit auszeichnen; leider fand ich keine ziffernmässigen Daten hierüber.

*)	E. R.	1892.	S. 788.	XXX.
	The E. E. L.	1892.	S. 618.	IX.
	The El.	1892.	S. 336.	XXIX.
**)	The E.	1890.	S. 597.	XXIV.
	L. E.	1899.	S. 366.	—
	Ph. M.	1890.	S. 434.	—
	L. E.	1890.	S. 465.	—
	W. A. B.	1890.	S. 645.	—

Das Jahr 1892 brachte zunächst eine Construction von Gaiffe*), die sich wieder durch horizontale Lage des beweglichen Systems auszeichnet. Das Instrument hat keinen Eisenkern. Die Spule bewegt sich direkt zwischen den Schenkeln zweier cylindrisch geformter, in einander steckender Magnete. Ein zweites Modell hat diese Anordnung in vertikaler Lage. Die Suspension ist in beiden Fällen durch Spitzen, die Stromleitung durch Spiralfedern bewerkstelligt. Das Instrument erinnert sehr an das von d'Arsonval des Jahres 1888 (siehe Seite 14 Fig. 6).

Im nächstfolgenden Jahre (1893) erschien eine Neu-Auflage des Ayrton u. Mathers Galvanometers von der Firma Queen & Cie. in Philadelphia**). Neues ist über das Instrument, das indessen den Namen „New d'Arsonval-Galvanometer" führte, absolut nicht zu sagen. Um doch eine kleine Abweichung von der Original-Construction zu geben, wurde statt der Silberröhre eine solche von Aluminium angewendet, was bei dem Eisengehalt des Aluminiums überhaupt, namentlich aber desjenigen der damaligen Zeit, sicherlich nicht zum Vorteile war.

Weitere Modelle veröffentlichte im Jahre 1893 Lieut. Parkhurst***). Das erstere derselben ist die ein klein wenig veränderte erste Carpentier'sche Form, das zweite enthielt insofern eine Neuerung, als nur eine Spitzensuspension am oberen Teil des Rahmens mit doppelter Spiralen-Stromleitung vorhanden war. Auch waren im Innenraum der zirkularen Magnete Zweig-Widerstände, sogenannte Shunts, untergebracht.

Dasselbe Jahr brachte noch eine Verbesserung des schon

*) L. L. E. 1892 S. 483. XXXXV.
W. A. B. 1893. S. 848. —
**) The E. 1893. S. 423. XXX.
E. R. 1893. S. 203. XXXII.
The E. E. N. 1893. S. 362. XV.
E. Z. 1893 S. 212. XV.
The E. E. N. 1893. S. 388. XV.
The E. E. N. 1893. S. 410. XV.
L. L. E. 1893. S. 278. XLVIII.
W. A. B. 1893. S. 1091. —
F. d. Ph. 1893. S. 587. IL.
***) The E. E. N. 1893. S. 530. XV.

einmal erwähnten Holden-d'Arsonval-Galvanometer*) Es hatte zirkulare Magnete mit weichem Eisenkerne, doppelter gespannter Suspension, wobei das ganze Suspensionsstück mitsamt dem Rahmen herausgenommen und ausgewechselt werden konnte. Auch war eine Einrichtung getroffen, dasselbe zur Messung von Wechselströmen als Hitzdraht-Instrument zu verwenden. Da diese Construction indes in keinerlei Zusammenhang steht mit dem Prinzipe der d'Arsonval-Galvanometer, so glaube ich nicht näher darauf eingehen zu müssen.

Die letzten Jahre kamen keine wesentlichen Neuheiten mehr, nur haben sich die einzelnen Firmen verschiedene Typen herausgearbeitet, so namentlich die Weston Co.**), Hartmann & Braun***), Siemens & Halske †), Edelmann u. a.

Heutigen Tages, wo man bei der eminenten Ausdehnung städtischer Zentralanlagen und ihrer schädlichen Einflüsse auf Laboratorien, welche ja des öfteren in der Litteratur††) und unter anderm auch in den Sitzungen gelegentlich des Elektrotechnischen Congresses†††) zu Frankfurt a. M. 1891 dargelegt wurden, diese Art von Galvanometern immer häufiger anzuwenden gezwungen ist, ist natürlich das Interesse der einschlägigen Firmen hiefür in hohem Grade gewachsen. Jedoch dringt nichts von den Fabrikations-Erfahrungen in Rücksicht auf die Concurrenz an die Oeffentlichkeit. Deshalb ist es schwierig, die Gesichtspunkte, die für das praktische Gütever-

*) The E. 1893. S 720. XXXI.
F. d. Ph 1893. S. 587. IL.
**) L. L. E. 1893. S. 275. IL.
E. Z. 1894. S. 185. XVI.
E. Z 1894. S 386. XVI.
***) E. Z. 1894. S. 331. XVI
Z. f. J k. 1895. S. 311. XV.
E Z. 1897. S. 175. VIII.
†) E Z. 1896. S. 264. XVIII.
E Z. 1896. S. 587. XVIII.
††) E. Z. 1895. S. 288. XVII.
E. Z. 1895. S. 417. XVII.
E. Z. 1895. S. 433. XVII.

†††) Bericht über die Verhandlungen des internationalen Elektrotechniker-Congresses zu Frankfurt a. M. vom 7. bis 12. Sept. 1891. Zweite Hälfte, S. 16.

hältnis dieser Instrumente massgebend sind, zu erörtern, abgesehen von theoretischen Bestimmungen.

Ich habe im Vorhergehenden mich bemüht, eine möglichst ausführliche Chronik unseres Galvanometers zu geben. Man sieht daraus, dass anscheinend viele Leute an dem Ausbau desselben gearbeitet. Deshalb führt das Instrument auch verschiedene Namen. Meistens wird es Deprez-d'Arsonval-Galvanometer genannt.

Fragen wir uns zunächst nach den Verdiensten dieser beiden Männer, so ergibt sich in kurzen Worten gesagt, dass Deprez in unserer historischen Darlegung als erster mit dem Instrumente in Verbindung tritt, d'Arsonval brachte den Eisenkern an, dem Deprez alsdann cylindrische Form gab. Dies alles geschah in den Jahren 1880 bis 1883. Das Instrument der beiden meistenteils als Erfinder bezeichneten Herren bestand also im Prinzip aus einem stromdurchflossenen Drahtrahmen, beweglich in einem Magnetfelde, das durch einen weichen Eisenkern verstärkt wurde. Alle diese Teile, nur in viel empfindlicherer und ingeniöser Form und Ausführung enthält schon der von Sir W. Thomson (Lord Kelvin) im Jahre 1867 *) construirte Siphonrecorder. Derselbe setzt sich, wie bekannt, zusammen aus einem kräftigen Magnetfelde, gebildet durch Stahl- oder Elektromagnete, in welchem ein schmaler rechtwinkliger Rahmen suspendirt ist. Der Hohlraum des Rahmens ist zur Verstärkung der Feldintensität durch ein festes Eisenstück ausgefüllt. Die Heber-Schreibe-Vorrichtung zeichnet die Ausschläge des bifilar aufgehängten Rahmens continuirlich auf. Wir haben also hier ein registrirendes Galvanometer von ganz eminenter Empfindlichkeit. Lässt man nun den Registrirapparat fort und bringt statt dessen einen Zeiger oder Ablesespiegel an, so hat man das sogenannte Deprez-d'Arsonval-Galvanometer. Es ist mir deshalb unverständlich, aus welchem Grunde man obengenannte Herren als Erfinder des Galvanometers bezeichnet. Wenn man dasselbe mit dem Namen seines Erfinders benennen wollte, so müsste doch Thomsons Name als der seines genialen Constructeurs vor demselben stehen **).

*) Zetsche, Katechismus d. elektrischen Telegraphie, Leipzig 1883. S. 193.
**) Siehe auch: The El. 1890. S. 271. XXV. The El. 1890. S. 658. XXV.

Zum Schlusse dieses Kapitels möge es mir gestattet sein, noch einige Litteraturangaben über die Verwendung etc. des Galvanometers zu machen. Ausführliche Versuche in dieser Hinsicht sind zum ersten Male von P. Barbier *) im Jahre 1884 publizirt. Der Aufsatz behandelt die Messung von elektromotorischen Kräften, innerem Widerstand von Säulen, Messung von schwachen, mittleren und grossen Intensitäten, der Entladung von Säulen und Accumulatoren.

Eine Methode, wie man den Schwerpunkt des Rahmens genau in die Achse bei horizontaler Suspension bringt, gibt W. Cam. Rechniewski **) an, ebenso die Anwendung des Instrumentes als Volt- und Ampèremeter.

Den Gebrauch desselben als ballistisches Galvanometer erläutert Ledebör in einer der Academie francaise ***) vorgelegten Note. Derselbe gibt auch eine sehr interessante rein theoretische Bearbeitung †) des Instrumentes, betitelt „Étude du galvanomètre apériodique Deprez-d'Arsonval". Er behandelt zunächst das aperiodische Galvanometer vom theoretischen Gesichtspunkt aus überhaupt, dann den Einfluss des Selbst-Induktions-Coëffizienten des Rahmens, der sich indes als vollständig zu vernachlässigen herausstellt. Die experimentelle Bestätigung der gefundenen Formeln erstreckte sich sowohl auf die Messung von Elektrizitätsquantitäten (bei Entladungen), als auch auf die Messung von constanten Strömen. Den Schluss der interessanten Arbeit bilden noch die experimentelle Ermittlung des Trägheitmomentes des Rahmens, die Empfindlichkeit und der Einfluss der Entladungsdauer.

---

*) L. L. E. 1884. S. 370. XIII.
**) L. L. E. 1885. S. 393. XVII.
E. R. 1885. S. 266. XVII.
F. d. Ph. 1885. S. 590. XLI.
W. A. B. 1886. S. 126. —
***) C. R. 1886. S. 504. CII.
L. L. E. 1886. S. 507. XIX.
W. A. B. 1886. S. 512. —
F. d. Ph. 1886. S. 554 XLII.
Cim. 1886. S. 45. XX.
†) L. L. E. 1886. S. 577. XX.

Die Verwendung des Instrumentes zur Messung von Thermoströmen gibt Dieudonné gelegentlich d'Arsonvals Versuche über die tierische Wärme im Jahre 1886 *) an.

Versuchsresultate von unserem Galvanometer finden sich in der bekannten Abhandlung „Galvanometers" von Prof. Ayrton, T. Mather und W. E. Sumpner **).

In demselben Jahre 1890 erschien auch die oben erwähnte Arbeit von Mather über die Dimensionen der Spulen bei Galvanometern mit beweglichem Stromkreise ***).

*)	L. L. E.	1886.	S. 17.	XX.
	E. R.	1886.	S. 344.	XVIII.
	C. f. E.	1886.	S. 485	VIII.
	Z. f. J. k.	1886.	S. 391.	VI.
	Rev. Int.	1886.	S. 246.	II.
	F. d. Ph.	1886.	S. 553.	XLII.
	F. d. Ph.	1886.	S. 553.	XLII.
	F. d. Ph.	1886.	S. 370.	XLIII.
	Soc. franc.	1886.	S. 30.	I.
	W. A. B.	1886.	S. 65.	—
	Z. f. E.	1888.	S. 196.	—
**)	The E. E. L.	1890.	S. 99.	V.
	E. R.	1890.	S. 159.	XVI.
	The E. E. L.	1890.	S. 106.	V.
	The El.	1890.	S. 348.	XXV.
	The E. E. L.	1890.	S. 137.	V.
	Ph. M.	1890.	S. 58.	XXX.
	E Z.	1890.	S. 542.	XI.
	E R.	1890.	S. 670.	XXVII.
	F. d. Ph.	1890.	S. 543.	XLVI.
	Proc. Phys. Soc.	1890.	S. 393.	X.
	Rev. Int.	1890.	S. 348.	X.
	Eng.	1890.	S. 101.	XLI.
	Ch. N.	1890.	S. 46.	LXI.
	W. A. B.	1891.	S. 431.	—
	L. L. E.	1891.	S. 334.	XLI.
	Cim.	1891.	S. 164.	XXX.
	The E. E. L.	1892.	S. 595.	IX.
***)	The E.	1890.	S. 597.	XXIV.
	L' E'.	1890.	S. 366.	—
	Ph M.	1890.	S. 434.	—
	L' E'.	1890.	S. 465.	—
	W. A. B.	1890.	S. 645.	—

Ueber den Gebrauch unseres Instrumentes an Bord findet man Näheres in einer kurzen Abhandlung von H. W. Sullivan*).

Weitere Versuchsresultate von W. E. Ayrton und T. Mather finden sich im Jahre 1894 in Chemical News **).

*) E. R. 1892 S. 688. XXXI.
E. R. 1892. S. 703. XXXI.
**) Ch. N. 1894. S. 309. LXV.
W. A. B. 1894. S. 227. —

II. Die Empfindlichkeit.

Es ist natürlich, dass man allenthalben bestrebt ist, die Empfindlichkeit eines Galvanometers, namentlich eines, das man bei Nullmethoden anwenden will, möglichst zu steigern. Auch bei unserm Instrument ist dies der Fall gewesen, und da die Instrumente wohl noch nicht ihren Höhepunkt als wissenschaftliche Apparate erreicht haben, so ist es auch noch der Fall. Specielle Abhandlungen über dieses Thema geben Dr. Classen*), M. H. Abraham**) und Dr. H. Sack***). Erstere beide Autoren behandeln die Sache mehr als Theoretiker, letzterer als Ingenieur der Firma Siemens & Halske als Praktiker.

Dr. Classen schlägt vor, den horizontalen Durchmesser der Spule möglichst klein, das Magnetfeld nicht zu stark (keine Elektromagnete) und möglichst dünnen Suspensionsdraht zu verwenden.

Abraham ist der Ansicht, dass man die Intensität des Magnetfeldes möglichst vermehren, die Dimensionen des beweglichen Rahmens und die Torsionskraft verkleinern soll. Auch ist derselbe für Anwendung von Elektromagneten. Diese beiden Herren stehen sich also vollständig diametral gegenüber betreffs des zu verwendenden Magnetfeldes.

Hören wir den Praktiker. Dr. Sack spricht für Anwendung eines möglichst kräftigen Magnetfeldes und einer Spule mit nicht allzukleinem horizontalen Durchmesser.

*) E. Z. 1895. S. 676. XVII.
F. d. Ph. 1895. S. 589. LI.
W. A. B. 1896. S. 291.

**) C. R. 1896. S. 882. CXXII.
W. A. B. 1896. S. 898.

***) E. Z. 1896 S. 587. XVIII.

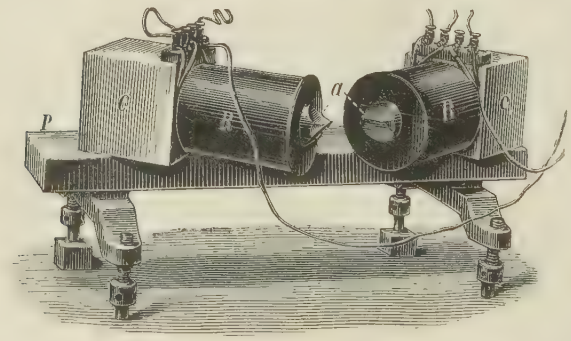
Im Anschluss daran möge es mir gestattet sein, einiges aus meiner Praxis mit der Anfertigung dieser Instrumente mitzuteilen.

Das ganze Galvanometer besteht, wie schon erwähnt, aus drei Teilen:

1. dem Magnetfeld,
2. der Spule,
3. ihrer Suspension.

Das Magnetfeld ist meiner Ansicht nach möglichst kräftig zu wählen, da eine grössere Anzahl von Kraftlinien ja die Ablenkungskraft des die Spule durchlaufenden Stromes vermehrt und damit den Ausschlag desselben vergrössert. Deshalb finde ich selbst die Anwendung von Elektromagneten vollkommen gerechtfertigt. Allein eine Grenze wird der Stärke des Magnetfeldes durch die Beschaffenheit der Spule selbst gesetzt. Sowohl der verwendete Draht als auch die Rahmenunterlage sind empfindlich magnetisch. Diese Erfahrung bestimmte mich, eine Anzahl von Drähten verschiedener Firmen auf ihren Magnetismus hin zu untersuchen. Hiezu verwendete ich folgende Versuchsanordnung.

Ich stellte mir ein ziemlich kräftiges Magnetfeld mit Hilfe des Elektromagneten, wie ihn Figur 9 zeigt, her. Die Polschuhe *a* liess ich weg, so dass der Eisenkern mit der Stirnflansche der Spulen eine Ebene bildete. Die beiden Pole, die durch ein dazwischengelegtes Hartgummistück bei der ganzen Versuchsreihe in stets gleicher Entfernung gehalten wurden, hatten einen Abstand von 39 mm. Die Intensität war 490 Kraftlinien pro qcm. In den Raum zwischen den Polen hing ich nun den zu untersuchenden Draht. Da ergab sich schon eine Schwierigkeit, die



Figur 9.

mich ziemlich lange aufhielt. Ich wand den Draht zunächst auf eine Spule von Elfenbein, die sich indes als sehr stark diamagnetisch erwies. Eine solche aus Pappe war magnetisch, ebenso eine aus Ebenholz. Dann versuchte ich den Draht über einer Schablone aufzuwickeln und dieselbe zum Versuche zu entfernen, allein das ging nicht ohne allzu grosse Deformationen des Drahtgebildes. Endlich gelang es mir, den zu verwendenden Rahmen merklich unmagnetisch herzustellen. Figur 10 zeigt denselben. Er bestand aus zwei Teilen, wovon *A* aus Elfenbein, *B* aus Ahornholz von 2,11 mm Dicke war. Im directen Bereiche des Eisenkerns war nur die eigentliche Spule *B*. Zur Bestimmung der jeweiligen Trägheitsmomente dienten zwei je 1,3907 g schwere Cylinderchen aus Ebenholz, 11,28 mm lang und von einem Radius von 11,76 mm, welche auf *a* aufgesteckt wurden. Vermittelst *b* wurde der ganze Rahmen mit einem Doppel-Haken nebst Ablesespiegel an einem 0,06 mm dicken und 80 cm langen Messingdraht aufgehangen. Der Draht selbst war in die Stange eines drehbaren Suspensionskopfes eingelötet. Ich verwendete denselben Messingdraht während aller Versuche. Auf die Spule *B* nun wand ich den zu untersuchenden Draht unter Vorausgang folgender Manipulationen: Ich wickelte um Daumen und Zeigefinger der linken Hand zweimal ein gewisses Quantum des Drahtes und wog sie beide auf einer chemischen Wage auf's genaueste ab, indem ich so lange bis beide Teile gleich waren, von einem der beiden Stücke abschnitt. Ich musste zu dieser Anordnung greifen, da ich, wie aus nachstehender Tabelle ersichtlich ist, den Draht einmal im ungereinigten, dann im gereinigten Zustande untersuchte. Zur Reinigung badete ich den Draht zuerst drei Stunden lang in gesättigter Lösung von Kupfervitriol und destillirtem Wasser, dann wusch ich ihn durch Schwemmen in destillirtem Wasser und trocknete ihn hierauf sorgfältig über einem Bunsenbrenner mit darauf liegendem dichtem Kupfersieb.

Fig. 10.

Darauf wurde der Draht sofort bis zum Versuchsgebrauch in mit obiger Lösung präparirtes Seidenpapier eingeschlagen, auch reinigte ich vor jedesmaliger Berührung des Drahtes oder

Rahmens meine Hände in der Vitriollösung. Da sich nun der Holzfaserstoff gelöst haben würde bei der Reinigung und das Gewicht des Rahmens mit präparirtem Drahte gegenüber dem desselben mit unpräparirtem zugenommen haben würde, so war ich gezwungen mir zwei genau gleiche Quantitäten des zu untersuchenden Drahtes herzustellen und dann die eine im unpräparirten, die andere im präparirten Zustande aufzuwickeln und zu untersuchen. Beim Aufwickeln des Drahtes auf die Spule ist sorgfältig darauf zu achten, dass kein Kurzschluss entsteht, da ein solcher in Folge der auftretenden Dämpfung das Resultat der Schwingungsbeobachtung irritiren würde. Alle diese Manipulationen wurden mit grösster Sorgfalt unter Beobachtung grösster Genauigkeit ausgeführt Die Schwingungsdauer wurde dadurch gemessen, dass ich vermittelst Spiegel, Fernrohr, Scala und Stopp-Chronometer die Dauer von 10 einfachen Schwingungen mass und den gefundenen Wert alsdann durch 10 dividirte. Dies wurde einmal unter Anregung des Elektromagneten, das zweite Mal bei gänzlicher Entfernung seiner Pole ausgeführt. Jeder Versuch wurde 6 mal gemacht und das Mittel aus den gefundenen Werten genommen.

Der leere Rahmen wog 1,6100 g, hatte ein Trägheitsmoment = 0,0759 und seine Schwingungs-Dauer in und ausserhalb des Magnetfeldes war 3,04″.

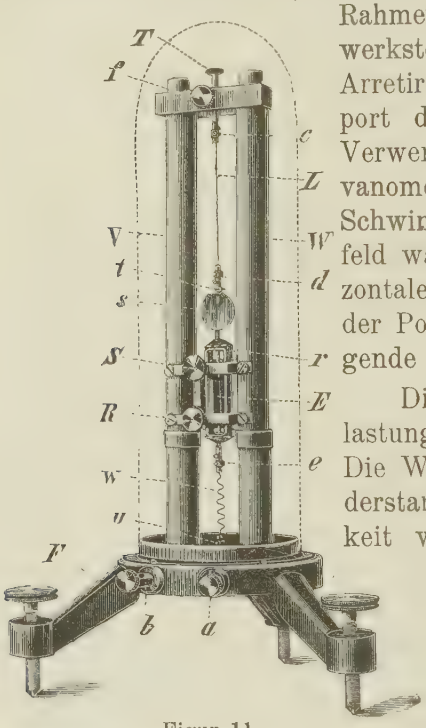
Nachstehende Tabelle gibt die Versuchsresultate wieder.

Draht No	Material	Φ mm		Gewicht d. Rahmens m. Draht i. g	Trägheits-Moment	Schwingungsdauer frei	Schwingungsdauer im Magnetfeld	Differenz
I	Cu.	0,08	Ungereinigt	2,6335	1,8365	3,82	2,58	1,24
			Gereinigt	2,6830	1,9070	3,98	2,90	1,08
II	Cu	0,1	Ungereinigt	2,6334	1,8011	3,76	2,25	1,51
			Gereinigt	2,6415	1,8025	3,94	2,56	1,38
III	Cu.	0,1	Ungereinigt	2,6385	1,6687	3,74	1,98	1,76
			Gereinigt	2,6400	1,7303	3,92	2,98	0,94
IV	Cu.	0,06	Ungereinigt	2,6420	1,7945	3,74	2,04	1,70
			Gereinigt	2,6425	1,8825	3,86	2,60	1,26
V	Cu.	0,07	Ungereinigt	2,6410	1,7090	3,76	2,72	1,04
			Gereinigt	2,6425	1,7820	3,89	3,15	0,74
VI	Ag.	0,08	Ungereinigt	2,6245	1,4140	3,56	2,64	0,92
			Gereinigt	2,6325	1,4866	3,68	2,78	0,90
VII	Al.	0,3	Ungereinigt	2,6230	1,7421	3,84	1,14	2,70
			Gereinigt	2,6288	1,8320	4,00	2,90	1,10

Aus der Tabelle ist zunächst zu ersehen, dass der Einfluss des Magnetfeldes bei einer Schwingung infolge des Magnetismus des Drahtes doch schon ziemlich beschleunigend wirkt; bei stromdurchflossenem Rahmen tritt natürlich Dämpfung auf, welche der Empfindlichkeit des Instrumentes Abbruch thut. Als der beste der untersuchten Drähte erwies sich Draht No. V, wie aus der letzten Kolonne der Tabelle zu ersehen ist. Der schlechteste derselben ist der Aluminiumdraht No. VII, weshalb es sich nicht empfiehlt, dieses Material zur Spulenwicklung zu verwenden, so angenehme Eigenschaften es auch sonst für diesen Zweck infolge seiner Leichtigkeit hätte. Durchgehends zeigt sich nach der Reinigung eine geringe Zunahme des Gewichts und eine mitunter ganz erhebliche Verminderung des Magnetismus, namentlich beim Aluminium. Es ist ja klar, dass sich diese Reinigung von Eisen grösstenteils nur auf die Umspinnung und die Oberfläche des Drahtes bezieht. Ich glaube aus diesen Versuchen folgern zu müssen, dass das grösste Augenmerk bei Wicklung der Spule auf den zu verwendenden Draht zu lenken ist. Es handelt sich nun darum, wie dieser Mißstand zu vermeiden ist Einmal kann man die Spule möglichst langgestreckt machen, um den möglichst klein zu wählenden horizontalen Teil derselben ganz aus dem Bereich des Magnetfeldes zu bringen, was indes den Rahmen schwerer, das Trägheitsmoment also grösser macht, oder aber man compensirt die magnetische Wirkung durch Wismuth. Versuche an einem Instrumente mit Wismuth-Compensation wurden angestellt, haben aber leider bis jetzt noch zu keinem hervorragend befriedigenden Resultate geführt. Ich hoffe jedoch sicherlich, dass sich nach weiterer Vervollkommnung des Instrumentes mit demselben etwas erreichen lässt.

Mit dem besten sich aus der Versuchsreihe ergebenden Draht No. V liess ich nun den Rahmen eines Galvanometers nebenstehender Form Figur 11 wickeln. Dasselbe hat zwei oben durch F verbundene cylinderförmige Magnete V und W, zwischen deren Polstücken der Rahmen an einem feinen Silicium-Bronceband suspendirt ist. Der Draht ist auf eine dünne Elfenbein-Spule aufgewickelt. Die Stromableitung ge-

schieht durch eine Spirale w aus obiger Bronce. Die Dämpfung wird durch einen herausnehmbaren, in sich geschlossenen Rahmen aus blankem Silberdraht bewerkstelligt. S und R dienen zur Arretirung der Spule beim Transport des Instrumentes. Zu seiner Verwendung als ballistisches Galvanometer hat es zwei aufzusteckende Schwingungsgewichte. Das Magnetfeld war ziemlich kräftig; die horizontalen Teile lagen ganz ausserhalb der Polstücke. Es ergaben sich folgende Daten:



Figur 11.

Die Schwingungsdauer ohne Belastung betrug 3″, mit Belastung 16″. Die Windungszahl war 500, der Widerstand = 240 Ω. Die Empfindlichkeit war 1 mm für 0,000000002 A bei 1 m Scalenabstand. Aperiodische Dämpfung trat ein mit 600 Ω

Interessant dürfte auch folgender Vergleich sein. Um den Draht V ebenso schlecht zu machen wie den Aluminiumdraht, genügte die Hinzufügung eines 0,0025 g schweren blanken Eisendrahtstückchens von 0,03 mm Dicke und 3,5 mm Länge.

Dieselbe Schwierigkeit wie bei der Wahl des Drahtes ergibt sich natürlich auch bei der Wahl des Materials für Rähmchen, und hat man schon Verschiedentliches darin versucht. Man hat ja natürlich das Bestreben, das bewegliche System möglichst leicht zu machen, allein die meisten Materiale sind entweder paramagnetisch oder diamagnetisch. Es fallen ja hier noch verschiedene Momente mit ins Gewicht, wie namentlich die Möglichkeit einer einfachen aber sicheren Arretirung. Electrolytisches Kupfer lässt sich ja eisenfrei herstellen und verwenden, hat aber dann den Nachteil, eine sehr starke

Dämpfung hervorzurufen. Elfenbein eignet sich zunächst wohl am besten dazu, wenn es vorher in Kupfervitriol-Lösung gereinigt wurde.

Als Suspension hat sich für technische Galvanometer die Achsenführung, für feinere Instrumente die Verwendung des Silicium-Bronce-Bandes bewährt.

Es liessen sich noch manche Gesichtspunkte für die Anfertigung unseres Galvanometers aufstellen, allein es dringt nur sehr weniges darüber aus oben angeführtem Grunde an die Öffentlichkeit. Jede Firma ist bestrebt, ein empfindliches und gutes Instrument zu liefern. Mit welchen Hilfsmitteln und unter Beachtung welcher Details, das bleibt ihr Geheimnis. Indes steht bei der allseitigen regen Teilnahme an der Vervollkommnung des Instruments ja sicher zu erwarten, dass dessen Empfindlichkeit bei seinen sonstigen vortrefflichen Eigenschaften noch bedeutend gesteigert werden kann und wird.

III.

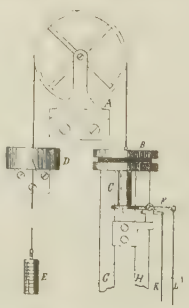
Die Verwendung des Instrumentes als ballistisches Galvanometer.

Wendet man unser Galvanometer als ballistisches Instrument an, so tritt die Frage auf, wie es sich denn hier mit der Aperiodicität bei dem in sich geschlossenen Instrumente verhält. Das heisst mit anderen Worten, es ist zu untersuchen, welchen Einfluss eine kürzere oder längere Schliessungsdauer auf den ersten Ausschlag hat.

Hat man es mit genügenden Stromstärken zu thun, dann schaltet man einfach solange Widerstand vor, bis das Instrument seine Aperiodicität verliert.

Um nun die Verhältnisse ohne Anwendung von Vorschaltwiderstand untersuchen zu können, construirte ich mir den in Figur 12 und 13 dargestellten Apparat.

Im Allgemeinen verwendete ich Teile einer Atwoodschen Fallmaschine dazu. Um einen kräftigen Induktionsstoss zu erhalten, liess ich einen kräftigen Stahlmagneten C (Figur 12) aus einer Induktionsrolle von 0,42 Ω und 82 Windungen eines 1 mm starken Kupferdrahtes herausfallen. Der Magnet diente mir so gleichzeitig als das eine Gewicht mit Übergewicht der Fallmaschine, da ich das andere Gewicht E kleiner und leichter nahm, um eine gehörige Fallgeschwindigkeit zu erzielen. Der Magnet ruht vor dem Herabfallen auf der Auslösevorrichtung F, welche mittelst Zuges an L einge-

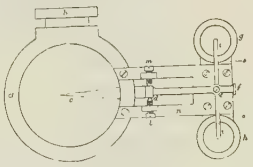


Figur 12.

klinkt, mittelst Zuges an K ausgelöst werden kann. Die obere Fläche des cylinderförmigen Magneten bildet mit der oberen Fläche der Induktionsrolle im Ruhezustande eine Ebene Um das bei obiger Geschwindigkeit des ganzen Systems sehr rasch heraufkommende Gewicht E zu arretiren, brachte ich den Hohlcylinder D aus Holz an. Derselbe war oben mit einer dicken Gummimembrame abgeschlossen, die in der Mitte ein Loch, ungefähr halb so gross als der Gewichttdurchmesser hatte. An der unteren Seite befestigte ich eine Anzahl von ca. 4 mm breiten Gummibändern, diagonal angeordnet und in einander verflochten. Diese Auffang-Vorrichtung funktionirte vortrefflich.

Zur Herstellung verschiedener Zeiten zwischen dem Erfolgen des Induktionsstosses und der Unterbrechung des Stromkreises construirte ich mir folgenden Stromschlüssel (Figur 13).

Ich nahm den Ring, der sonst bei der Fallmaschine zum Abheben des Übergewichtes dient und in den Leisten G und H verschiebbar ist als Unterlage. An diesen Ring a nun schraubte ich den eigentlichen Contact. Auf einer Messingplatte n ist in zwei Lagern um Spitzenschrauben m und l drehbar der Winkelhebel d angeordnet. An demselben ist ein Kupferdraht i befestigt, der in zwei Quecksilbernäpfe g und h aus Hartgummi eintaucht. Diese Näpfe ruhen auf einem Celluloidstreifen o, der an n angeschraubt ist. Unterhalb der Näpfe sind die beiden Klemmschrauben. Zur Correction des Eintauchens des Kupferdrahtes dient die Stellschraube e. Fällt nun der Magnet mit seiner untern Fläche an c des Hebels d, dann wird der Stromkreis einerseits sofort unterbrochen, andererseits verhindert eine Celluloidfeder bei f das Zurückfallen des Hebels bzw. Kupferdrahtes ins Quecksilber.

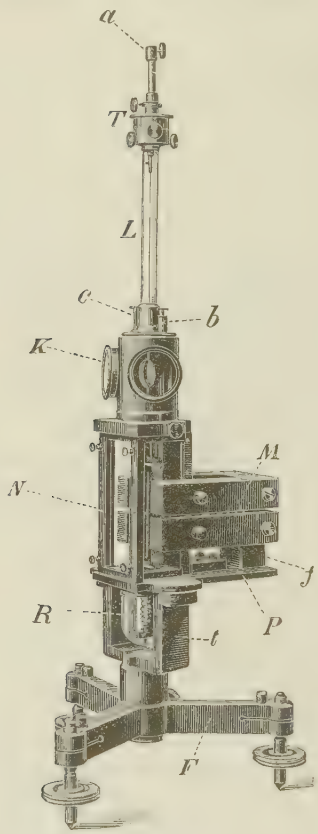


Figur 13.

Die Versuchsanordnung war folgende:

Als Galvanometer verwendete ich eine Construction meines Vaters, wie sie Figur 14 darstellt. Dasselbe hatte einen Widerstand von 64 Ω und war bis zur 10. Stelle empfindlich, wobei die einfache Schwingung des Rahmens 7 Sekunden dauerte. Das Galvanometer brachte ich nun in einen Stromkreis mit der

Induktionsrolle in obigem Schlüssel. Man muss übrigens sehr vorsichtig mit dem Legen der Drähte zu Werke gehen, um keine störenden Induktionswirkungen beim Herabfallen des Magneten zu erhalten.



Figur 14.

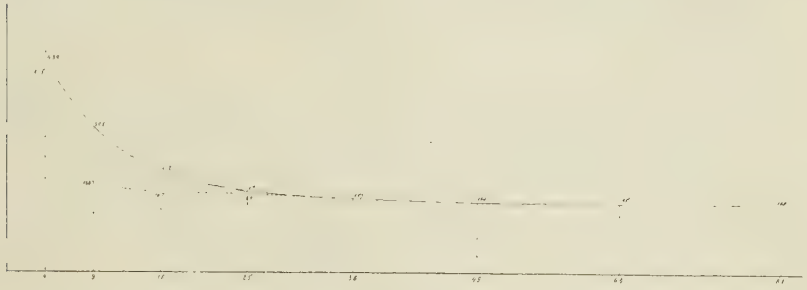
Um die verschiedenen Zeiträume zu erhalten, nahm ich verschiedene Fallräume. Zu diesem Zwecke teilte ich die eine Führungsleiste von der unteren Fläche des Magneten im Ruhezustande ab in lauter 2 cm lange gleiche Teile und merkte mir die Quadratzahlen 1, 4, 9, 16, 25 u. s. w. bis 81 an. Auf diese Marken wurde alsdann die obere Kante von C eingestellt.

Die Versuche machte ich in doppelter Ausführung, einmal ohne Belastung des Rahmens, ein zweites Mal, während der Rahmen mit zwei horizontal aufgesteckten Messingcylinderchen von je 2,79 g Gewicht, welches ganz ausserhalb des Magnetfeldes waren, belastet wurde.

Als Resultat wurde folgendes erzielt:

Schliessungsdauer in Sekunden	Galvanometerausschlag in mm	
	ohne Belastung	mit Belastung
1	439	415
1,4	301	188
1,8	212	167
2,2	171	164
2,6	154	154
3,0	146	146
3,4	145	145
3,8	145	145

Trägt man die Quadratzahlen als Ordinaten, die Galvanometer-Ausschläge als Abscissen auf, dann ergeben sich die in Figur 15 dargestellten Kurven.



Figur 15.

Man sieht daraus, dass die Kurve bei Nichtbelastung (ausgezogen) in allmählicher Krümmung abnimmt bis 64, wo sie alsdann in eine Parallele zur X Achse übergeht, um späterhin naturgemäss wieder gegen dieselbe abzufallen.

Bei Belastung (gestrichelt) nimmt die Kurve rapid ab und geht bei 36 in die erstere über.

Es resultirt also daraus, dass derartige Galvanometer sich für ballistische Zwecke dann und nur dann verwenden lassen, wenn man einen genügenden Widerstand vorschaltet oder entsprechende Schwingungsgewichte anbringt, bis die Galvanometer ihre Aperiodität verlieren.

Zu Letzterem ist noch zu bemerken, dass, je mehr man Belastung hinzufügt, der betreffende Ausschlag desto kleiner wird. Man sieht in Figur 15, dass er schon von 438 auf 301 herabsinkt.

Ich habe zuletzt noch einen Versuch mit schwerer Belastung, nämlich mit zwei Messingcylindern von 5,46 g Gewicht angestellt. Das Instrument hatte unter sonst ganz gleichen Bedingungen seine Aperiodicität gänzlich verloren, wurde indessen bedeutend unempfindlicher, da sich schon bei Stellung 4 nur ein Ausschlag von 156 mm (gegen 439 mm) ergab. Das Instrument braucht ausserdem in dieser Zusammensetzung sehr lange, bis es sich wieder beruhigt. Man könnte eventuell auch noch einen mit grosser Präcision arbeitenden Schlüssel für

constante Schliessungsdauern verwenden, wobei die Ausschläge desto grösser werden, je kleiner die Schliessungsdauer des Stromkreises ist.

Im nachfolgenden Kapitel sei es mir gestattet, die Versuchsresultate rechnerisch zu verwerten.

IV. Rechnerische Auswertung der experimentellen Resultate.

Die Differentialgleichung für s ist:

$$\frac{d^2 s}{dt^2} + k^2 s = 0.$$

Das Integral der Gleichung für den in der Zeit t vom Anfang an zurückgelegten Bogen lautet:

$$s = Ae^{r_1 t} + Be^{r_2 t}.$$

Für $t = 0$ soll nun $s = 0$ werden, wenn wir die Zeit von dem Moment an rechnen, wo der Rahmen noch in der Ruhelage ist und der Stromstoss gerade beginnt. Also muss sein $A + B = 0$, also $B = -A$. Setzt man diesen Wert von B oben ein, dann ergibt sich:

$$s = A\,(e^{r_1 t} - e^{r_2 t}).$$

Die Geschwindigkeit, mit welcher der Rahmen schwingt, ist gegeben durch die Gleichung:

$$\frac{ds}{dt} = A\,(r_1 e^{r_1 t} - r_2 e^{r_2 t}) = w_t.$$

Wird das Galvanometer nun die kleine Zeit x hindurch geschlossen gehalten und dann geöffnet, dann ist in dieser Zeit x der Galvanometerausschlag geworden:

$$s_x = A\,(e^{r_1 x} - e^{r_2 x}),$$

die Winkelgeschwindigkeit dagegen wird:

$$w_x = A\,(r_1 e^{r_1 x} - r_2 e^{r_2 x}).$$

Mit dieser Geschwindigkeit w_x beginnt das Galvanometer sodann frei zu schwingen. Wäre es dann vollständig ungedämpft, dann würde es bis zur Umkehr einen Bogen:

$$s'_x = w_x \cdot \frac{T}{\pi}$$

zurücklegen, wobei t die Schwingungsdauer des offenen Galvanometers ist. Im Ganzen hat es dann aus der Ruhelage den Bogen zurückgelegt:

$$s' = s_x + s'_x.$$

Ist das Galvanometer nach Stromöffnung nicht vollständig ungedämpft, sondern besitzt es noch eine gewisse kleine Dämpfung, durch Luftwiderstand etc., so kommt zu dem Ausdruck für s'_x ein Faktor f, der Dämpfungsfaktor hinzu. der sich in bekannter Weise aus der Periode der Schwingungen und dem logarithmischen Dekrement berechnet (siehe Kohlrausch, Leitfaden der praktischen Physik, 8. Aufl. Abschnitt 78.)

Beide Werte aus Obigem eingesetzt, ergibt:

$$s' = A\ (e^{r_1 x} - e^{r_2 x}) + \frac{T}{\pi} f A\ (r_1 e^{r_1 x} - r_2 e^{r_2 x})$$

$$s' = A\ [e^{r_1 x}\ (1 + \frac{T r_1}{\pi} f) - e^{r_2 x}\ (1 + \frac{T r_2}{\pi} f)].$$

Das muss also die Gleichung der experimentell gefundenen, in Figur 15 abgebildeten Kurve sein. Setzt man in diese Gleichung jeweils die gefundenen Werte für s' ein, dann erhält man 4 Gleichungen, aus welchen man die vier Unbekannten f, r_1, r_2 und A berechnen kann. Die Ausführung dieser Berechnung für das von mir benützte Versuchsinstrument ergab:

$$r_1 = -0{,}9605$$
$$r_2 = 3{,}391$$
$$f = 0{,}1324$$
$$A = 893{,}6$$

bei Verwendung von 5 stelligen Logarithmen. Ich füge das ausdrücklich bei, weil, wie man sich leicht selbst überzeugen kann, der Wert von A desto genauer wird, je mehr Stellen die zu seiner Berechnung verwendeten Logarithmen haben.

A hängt nun von der angewandten Elektrizitätsmenge ab Es ist nämlich, wenn bedeuten:

K = Trägheitsmoment
w = Winkelgeschwindigkeit des Rahmens,
G = Galvanometerkonstante
e = Elektrizitätsmenge

$$(K \frac{dw}{dt})_{x=0} = G \frac{de}{dt}.$$

Aus dieser Gleichung ergibt sich durch Integration:

$$w_{x=o} = \frac{G}{k} e + C.$$

Nun ist $C = O$, wenn der Stoss von der Ruhelage aus stattfindet, also

$$w_x = \frac{G}{k} e.$$

Für $X = O$ ist aber anderseits nach der obigen Formel

$$w_x = A\ (r_1 - r_2),$$

also gilt auch:

$$\frac{G}{k} e = A\ (r_1 - r_2).$$

Berechnet man daraus A, dann erhält man:

$$A = \frac{G}{k} \cdot \frac{e}{(r_1 - r_2)}.$$

Setzt man diesen Wert in die obige Gleichung ein, dann ergibt sich:

$$s' = \frac{G}{k} e' \frac{1}{(r_1 - r_2)} \left[e^{r_1 x} \left(1 + \frac{r_1 T}{\pi} f\right) - e^{r_2 x} \left(1 + \frac{r_2 T}{\pi} f\right)\right]$$

wobei e' zum Unterschied von der Basis e die Electrizitätsmenge bedeuten möge.

Der Reductionsfactor C des Instrumentes ergibt sich aus:

$$G i \cos\alpha = H \sin\alpha,$$

also

$$tang\,\alpha = i \frac{G}{H} = i C, \text{ wenn } C = \frac{G}{H}.$$

Die Schwingungsdauer des Galvanometers bei offenem Stromkreis ist gegeben durch:

$$K \frac{d s}{d t} = - H s.$$

Daraus durch Integration:

$$T = \pi \sqrt{\frac{k}{H}}; \text{ oder } \frac{k}{H} = \frac{T^2}{\pi^2}.$$

Nun ist nach Obigem:

$$G = C . H \text{ und } \frac{G}{K} = \frac{HC}{k} = C \frac{\pi^2}{T^2}.$$

Könnte das Galvanometer unmittelbar nach Beendigung des Stromstosses geöffnet werden, dann wäre der erste Ausschlag gegeben durch:

$$S = \frac{G}{k}\, e\, \frac{1}{(r_1 - r_2)}\, [(1 + \frac{r_1 T}{\pi} f) - (1 + \frac{r_2 T}{\pi} f)] = \frac{G}{k} \cdot \frac{T}{\pi} \cdot e f.$$

Setzt man hier den aus obiger Gleichung gefundenen Wert von $\frac{G}{k}$ ein, dann hat man:

$$S = \frac{G}{k}\, \frac{T}{\pi}\, e = c\, \frac{\pi}{T}\, e\, f.$$

Aus dieser Untersuchung geht hervor, dass man, wenn man einmal für ein bestimmtes Instrument die Konstanten r_1 und r_2 berechnet hat, dann aus jedem Ausschlag s' den wirklichen Wert von e leicht finden kann aus der Gleichung:

$$s' = C\, \frac{\pi}{T}\, e\, \frac{1}{r_1 - r_2}\, [e^{r_1 x} (1 + \frac{r_1 T}{\pi} f) - e^{r_2 x} (1 + \frac{r_2 T}{\pi} T f)]$$

in welcher ja alle übrigen Grössen bekannt sind. Durch Anwendung dieser Reductionsgleichung ist es also möglich, das d'Arsonval-Galvanometer auch ohne Weiteres als Schwingungs-Galvanometer zu verwenden.

Zum Schlusse erübrigt mir noch die angenehme Pflicht, verschiedenen Herrn für ihre liebenswürdige Unterstützung, die sie mir bei Gelegenheit dieser Arbeit angedeihen liessen, meinen Dank auch an dieser Stelle auszudrücken. Herrn Baurat Uppenborn für die gütige Ueberlassung seiner gesammten Fachzeitschriften, Herrn Professor Dr. Grätz für seine Unterstützung durch Rat und That, meinem Vater für Ueberlassung seines Privatlaboratoriums sowie sämtlicher benötigter Instrumente.

Abkürzungen in den Litteraturangaben.

C. f. E.	Centralblatt für Elektrotechnik (Uppenborn).
Ch. N.	The chemical news etc. London.
Cim.	Il nuovo cimento etc. Pisa.
C. R.	Comptes rendues hebdom. etc. Paris.
C. Z. f O. u. M.	Centralzeitung für Optik und Mechanik. Leipzig.
D. E. T.	Der Elektrotechniker. Wien.
D. p J.	Dinglers polytechnisches Journal. Stuttgart.
Elettr.	L'eletricità. Mailand.
El. W.	Electrical World.
El. Z.	Elektrotechnische Zeitschrift. Zetzsche und Rühlmann.
Eng.	Engineering London.
E. R.	The Tel journal und electrical review. London.
E. Z.	Elektrotechnische Zeitschrift. München, Berlin.
F. d. Ph.	Fortschritte der Physik. Berlin.
J. of T. E.	Journal of the society of Telegr. Eng. etc. London.
L' E.	L' Electricien. Paris
L. L. E.	La lumière électrique. Paris.
Ph. M.	Philosophical magazin. London.
P. N.	Polytechnisches Notizblatt. Frankfurt a. Main.
Proc. Phys. Soc.	Proceeding of the physic society. London.
Rev. Int.	Revue internationale des électriciens.
Soc. franc.	Sociétée francaise des physiciens. Paris.
The E. a. E. E. L.	The eng. and electr. engin. London.
The E. E. N.	The electrical engineer. London.
The E. E. N	The electrical engineer. New-York.
The El.	The electrician. London.
W. A. B.	Wiedemann's Annalen, Beiblätter.
Z. f. a E.	Zeitschrift für angewandte Elektricitätslehre Karl.
Z. f. E.	Zeitschrift für Elektrotechnik Kareis. Wien
Z. f. I. K.	Zeitschrift für Instrumentenkunde. Berlin.